

Комплексна дія різної температури середовища, фізичного навантаження і концентрації кисню у вдихуваному повітрі на терморегуляційні функції людини

О. О. Навакатікян, В. В. Лебедева, І. М. Благовещенська, С. О. Певний

Донецький інститут гігієни праці і профзахворювань

На багатьох виробництвах людина зазнає дії високої зовнішньої температури в поєднанні з рядом інших впливів (м'язове навантаження, променева енергія тощо). Вплив цих виробничих факторів, майже завжди вивчали ізольовано один від одного і не ставили питання про те, як саме зміни одного фактора позначалися на ефекті іншого [1, 2, 7, 9]. Беручи до уваги, що в умовах виробництва на організм діють одночасно кілька факторів, які зумовлюють особливості регуляції фізіологічних функцій та реакцій організму, вивчення їх ізольованого та сумісного впливу дуже важливе.

Ми вивчали одночасно дію основних факторів, що впливають на організм рятувальників при ліквідації аварій у вугільних шахтах, а саме: різних температур середовища, ступеня фізичного навантаження і концентрації кисню у вдихуваному повітрі.

Таке дослідження викликає ускладнення в зв'язку з необхідністю проведення багатьох серій дослідів з різними комбінаціями досліджуваних факторів. При порівнянні окремих серій дослідів та оцінці достовірності виявлених відмінностей з допомогою звичайних методів варіаційної статистики певні результати можна одержати лише при дуже великій кількості дослідів. Беручи до уваги недоліки цієї методики, ми використали для обробки матеріалу дисперсійний метод варіаційної статистики, розроблений Р. А. Фішером [6, 7]. Це вимагало точної організації дослідів, зокрема проведення всіх серій експериментів в однакових умовах і у випадковому чергуванні різних серій для нівелювання можливого впливу попередніх на наступні.

Методика досліджень

Дослідження провадилося з гірничими рятувальниками та студентами, які перед цим кожного дня на протязі місяця тренувались до умов дослідів.

Досліди здійснені у два етапи. На першому етапі з гірничими рятувальниками віком 27—30 років було проведено 12 серій дослідів (по три досліди в кожній серії на одного досліджуваного, що становило 108 дослідів). Для дихання використовували атмосферне повітря, суміш азоту з киснем у рівних частинах, або чистий кисень. Досліди провадились як у стані спокою, так і при фізичному навантаженні в умовах високої температури (50°С; 25—30% вологості), а також у кімнатних умовах (20—24°С, 70—80% вологості повітря). Фізичне навантаження становило 20 000 кдж/год.

На другому етапі проведено 48 дослідів на трьох студентах віком 20—23 роки, по чотири досліди в кожній із чотирьох серій. Студенти дихали повітрям або киснем в умовах високої (60°С; 20—25% вологості) і кімнатної (20—24°С, 70—80% вологості) температури. Дозоване навантаження становило 8—10 000 кдж/год. До, під час і після

впливу досліджуваних факторів визначали: температуру тіла, шкіри лоба та грудної клітки з допомогою електротермометра, інтенсивність потовідділення. До і після закінчення дослідів усі обслідувані проходили всебічний медичний огляд і були визнані здоровими.

Результати досліджень

У табл. 1, А показані зміни температури шкіри грудної клітки гірничих рятувальників (середні показники трьох обслідуваних) наприкінці досліду щодо вихідних даних. В умовах кімнатної температури у стані спокою при диханні атмосферним повітрям ці показники практично не змінювалися. Зі збільшенням концентрації кисню у вдихуваному повітрі накреслювалось досить чітке підвищення температури. В дослідях з фізичним навантаженням при температурі 24°C і диханні атмосферним повітрям температура шкіри грудей знижувалась на $0,52 \pm 0,17^{\circ}\text{C}$; застосування суміші сприяло підвищенню її в середньому на $0,66$, а кисню — на $0,13^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 1

Зміни температури шкіри грудей у гірничих рятувальників за 60 хв впливу досліджуваних факторів (середня вихідна температура становить $33,6^{\circ}\text{C}$)

А

Температура в камері	Спокій			Робота			Помилка	
	Повітря	50 % O_2	100 % O_2	Повітря	50 % O_2	100 % O_2	середньої	різниці двох середніх
$+24^{\circ}\text{C}$	+0,03	+0,30	+0,36	-0,52	+0,66	+0,13	+0,17	$\pm 0,24$
$+50^{\circ}\text{C}$	+1,19	+0,91	+0,76	+2,10	+0,63	+1,10		

Б

Температура в камері	Обслідувані	Повітря	50 % O ₂	100 % O ₂	Різниця в змінах при вдиханні повітря і 100 % O ₂
		помилка середньої=0,20			(помилка різниці=0,28)
+24° C	A=в	—0,10	+0,35	+0,33	—0,43
	K=в	—0,55	+0,71	+0,21	—0,76
	Ч=в	—0,08	+0,38	+0,20	—0,28
+50° C	A=в	+1,05	+0,66	+0,78	+0,27
	K=в	+2,30	+0,86	+0,55	+1,75
	Ч=в	+1,55	+0,78	+1,36	+0,19

В

Температура в камері	Спокій	Робота	Помилка	
			середньої	різниці двох середніх
$+24^{\circ}\text{C}$	+0,23	+0,09	$\pm 0,10$	$\pm 0,14$
$+50^{\circ}\text{C}$	+0,95	+1,28		

При високій температурі середовища у стані спокою в усіх випадках температура шкіри підвищувалася, але зрушення при диханні різ-

ними газовими сумішами були неоднаковими. Як видно з таблиці, найбільше підвищення відзначалось при диханні атмосферним повітрям ($1,19^\circ$). Застосування збільшених концентрацій кисню приводило до меншого підвищення температури ($0,91-0,70^\circ\text{C}$). При цьому слід відзначити, що між впливом атмосферного повітря і 100%-ного кисню була достовірна різниця, яка в цьому випадку становила $0,49 \pm 0,24^\circ\text{C}$ ($t=2,04$).

Виконання фізичної праці при диханні повітрям при високій температурі викликало значне підвищення температури шкіри грудей ($2,10 \pm 0,17^\circ\text{C}$). Використання кисню в цих умовах викликало менше підвищення її.

Наведені дані ілюструють комплексну дію двох факторів: концентрацію кисню у вдиханому повітрі і різну температуру середовища. Якби вплив цих факторів був незалежним один від одного, тобто їх дія підсумовувалась, то кисень викликав би однаковий ефект на зміну температури шкіри грудної клітки як при кімнатній, так і високих температурах. Але тоді як при кімнатній температурі підвищення концентрації кисню у вдихуваному повітрі викликало підвищення температури шкіри грудей, в умовах високої температури середовища відзначалось зворотне явище, а саме, при диханні 50—100%-ним киснем температура шкіри підвищувалась значно менше, ніж при диханні атмосферним повітрям.

Кінцеві результати дисперсійного аналізу зведені в табл. 2 і не завжди виникає потреба звертатись до проміжної таблиці типу 1.

Таблиця 2
Показники достовірності впливу окремих факторів та їх комбінацій

1. Фактори та їх комбінації (F)	A	B	C	D	AB	AC	AD	
2. Показники достовірності (θ)	1,39	1,1	0,47	86,9	0,4	1,45	2,24	
1. Фактори та їх комбінації (F)	BC	BD	CD	ABC	ABD	AC	BC	ABC
2. Показники достовірності (θ)	0,2	6,0	22,9	1,5	0,4	4,33	9,4	0,6

У табл. 2 буквами A, B, C, D, AB, AC, AD і т. д. зазначені досліджені фактори та їх комбінації: A — індивідуальні властивості обслідуваних; B — ступінь навантаження; C — концентрація кисню у вдихуваному повітрі; D — температура середовища. Кожний фактор складається з кількох варіантів. Наприклад, ступінь навантаження (B) включає в себе спокій і фізичну працю.

Для оцінки достовірності впливу досліджуваних факторів та їх комбінацій обчислюється дисперсія з урахуванням кількості ступенів свободи для кожного з них.

Одержані величини порівнюються з дисперсією випадкових факторів, не взятих до уваги в наведених дослідях, за допомогою ділення перших на останню. Таким чином одержуються коефіцієнти достовірності, які оцінюються по таблицях дисперсійних відношень Фішера (з метою збереження місця в табл. 2 не наведені числа ступенів свободи та дисперсії). В таблиці однією, двома і трьома лініями підкреслені ті показники θ , які відповідають першому, другому і третьому ступеню достовірності, коли p дорівнює, або менше 0,05; 0,01; 0,001.

Достовірність комплексної дії CD була розглянута вище. Слід

також відзначити, що комбінована дія *CD* не однаково виявляється у окремих обслідуваних. Про це свідчить величина Θ , що дорівнює для комбінацій *AC* 4,33 (табл. 2). Як видно з табл. 1, *B*, різниця між впливом 100% кисню і повітря при кімнатній і високій температурі найбільше проявилась у обслідуваного К-в, в чисельному виразі вона становила $1,75^\circ - (-0,76) = 2,51^\circ \pm 0,40^\circ$, тоді як у двох інших обслідуваних відповідні величини були нижчі ($0,47$ та $0,70^\circ \text{C}$).

Коефіцієнт достовірності Θ для комбінації *BD*, що становить 6,0, відповідає величині, яка необхідна для першого ступеня достовірності (табл. 2). Це вказує на залежність впливу температури середовища від ступеня фізичного навантаження і навпаки. Так, коли при кімнатній температурі в досліді з фізичним навантаженням відзначалось підвищення температури шкіри менше, ніж в умовах спокою, то при високій температурі спостерігалась зворотна картина (табл. 1, *B*).

Зміни температури шкіри лоба у гірничих рятувальників при звичайній температурі у стані спокою при диханні атмосферним повітрям і сумішшю з різним вмістом кисню були невеликими і статистично недостовірними. При високій температурі у спокою дихання сумішшю і киснем викликало підвищення температури шкіри лоба. Цей ефект протилежний впливу на температуру шкіри грудної клітки, тому що в таких же умовах дихання киснем забезпечувало менше підвищення її в порівнянні з диханням повітрям.

В умовах високої температури під час роботи концентрація кисню майже не впливала на температуру шкіри лоба, яка у всіх серіях дослідів підвищувалась на $1,17-1,24^\circ \text{C}$. Водночас у стані спокою при диханні 50—100%-ним киснем температура лоба майже не змінювалась, тоді як при диханні атмосферним повітрям помітно знижувалась.

При обслідуванні студентів, які виконували легку роботу за інших мікрокліматичних умов, були одержані трохи інші дані. У них спостерігалось значне підвищення температури шкіри грудей при фізичній праці в умовах високої температури як при диханні атмосферним повітрям, так і киснем, без значної різниці між ними.

Виконання роботи в умовах кімнатної температури й дихання атмосферним повітрям приводило у студентів до підвищення температури лоба на $0,62 \pm 0,16^\circ \text{C}$, застосування кисню в цих умовах знижувало її на $0,32^\circ \text{C}$. Одержана різниця становила $0,94 \pm 0,22^\circ \text{C}$ і була статистично достовірною. Виконання роботи при високій температурі викликало підвищення температури шкіри лоба, як при диханні атмосферним повітрям, так і киснем. Кисень у цьому випадку не спричиняв додаткового впливу.

При аналізі змін температури тіла було встановлено, що вплив кисню в значній більшості залежить від фізичного навантаження. Дихання 50—100%-ним киснем порівняно з повітрям у стані спокою мало впливало як при звичайній, так і при високій температурах. В умовах праці воно обумовлювало менше підвищення температури щодо дихання атмосферним повітрям. Ефективність дихання киснем була тим вища, чим інтенсивнішою була робота.

Втрата у вазі, виявлена при обслідуванні гірничих рятувальників (табл. 3), в умовах спокою і звичайній температурі середовища при диханні атмосферним повітрям була незначна. Зі збільшенням концентрації кисню у вдихуваному повітрі відзначалась тенденція до підвищеного потовідділення. При фізичному навантаженні в умовах низької температури і при диханні атмосферним повітрям потовідділення значно збільшувалось. З підвищенням концентрації кисню у вдихуваному повітрі в цих умовах спостерігалась інша картина: зменшення ін-

тенсивності потовідділення. Так, коли при диханні атмосферним повітрям втрата ваги протягом дослідів становила $592 \pm 42,5$ г, то при диханні сумішшю лише 34 г, киснем — 294 г. Різниця у потовідділенні між впливом атмосферного повітря та сумішшю становила 251 ± 60 г ($t=4,2$), а киснем 298 ± 60 г ($t=5$). Таким чином, вплив підвищеної концентрації кисню у вдихуваному повітрі у стані спокою і при виконанні роботи був прямо протилежним.

Таблиця 3

Потовідділення (в г) за 60 хв дії досліджуваних факторів у різних серіях дослідів у гірничих рятувальників

Температура в камері	Спокій			Робота			Помилка середньої	Помилка різниці двох середніх
	Повітря	50% O ₂	100% O ₂	Повітря	50% O ₂	100% O ₂		
+24° С	41	116	122	592	341	294	± 42,4	± 60
+50° С	263	267	319	723	723	561		

Перебування в умовах високої температури та спокою викликало збільшення потовідділення від 263 до 319 ± 42 г. Вплив концентрації кисню при цьому ясно не проявлявся. При виконанні фізичної роботи в умовах високої температури і дихання атмосферним повітрям та сумішшю спостерігалась однакова інтенсивність потовідділення. Дихання чистим киснем зменшувало потовідділення.

При обслідуванні студентів в умовах кімнатної температури і дихання атмосферним повітрям потовідділення протягом дослідів становило в середньому 127 ± 55 г, а при диханні киснем — 155 г. Відповідні кількості в умовах високої температури середовища досягали 1053 і 1033 г. Отже, концентрація кисню істотно не впливала на величину потовідділення.

В одержаних даних найбільший інтерес становить виявлений комбінований вплив досліджуваних факторів, зокрема, взаємна залежність дії кисню, температури середовища і фізичного навантаження. Завдяки дії останніх, ефект від кисню часто змінювався, а інколи ставав прямо протилежним.

Результати, одержані у гірничих рятувальників і студентів, часто значно відрізнялись. Так, при обслідуванні гірничих рятувальників було встановлено, що в стані спокою дихання киснем стимулює потовідділення, тоді як при виконанні тяжкої фізичної праці, навпаки ослаблює його. Водночас при дослідженні студентів не вдавалося виявити вплив кисню на потовідділення, що могло залежати від виконання роботи з меншим навантаженням.

Можна гадати, що механізм впливу підвищених концентрацій кисню на терморегуляцію різний у стані спокою і при виконанні фізичної роботи. Якщо у спокою при звичайній температурі здійснювалась стимуляція процесу тепловіддачі (більше потовідділення та розширення шкірних судин), то в дослідях з фізичною роботою при звичайній температурі, навпаки, потовідділення було меншим при диханні киснем, ніж повітрям. В умовах високої температури дихання киснем забезпечувало також менше підвищення температури шкіри грудей.

Потовідділення в наших дослідях могло стимулюватись трьома факторами: м'язовою роботою, високою температурою середовища і, можливо, також вдиханням кисню. Останній вплив виявився в дослідях у стані спокою при звичайній температурі, в яких два перших фактори

були відсутніми. Одержані дані дають підставу гадати, що ступінь потовідділення зумовлюється, головним чином, від впливу найбільш сильного фактора. Тому менше потовідділення при диханні киснем під час роботи при високій температурі середовища, можна пояснити меншим м'язовим напруженням. Другою причиною цього слід вважати раннє включення механізму тепловіддачі, завдяки стимулюючій дії на них кисню (потовідділення, розширення шкірних судин) ще до появи ознак перегрівання. Збільшення потовідділення у людей під впливом вдихування кисню в умовах звичайної температури відзначали й угорські автори [10].

Результати цих та проведених нами раніше досліджень показали, що в умовах, які можуть викликати перегрівання організму, дихання киснем сприятливо впливає на фізіологічні процеси (терморегуляцію, діяльність серця, стан нервової системи) [2—5]. Одним з механізмів цього явища може бути зменшення, або усунення гіпоксемії, що викликається фізичною працею. Крім того, за нашими даними, напруження регулюючих механізмів в цих умовах при диханні 50—100%-ним киснем значно зменшується: менше потовідділення і розширення шкірних судин, менше прискорення серцебиття, зниження мінімального кров'яного тиску, і, можливо, також менше підвищення хвилинного об'єму серця.

Висновки

1. Вплив температури середовища, фізичного навантаження і концентрації кисню у вдихуваному повітрі взаємно зумовлені; кисень в умовах кімнатної температури сприяє підвищенню температури шкіри грудей, а при високій — зниженню. Робота в умовах кімнатної температури в порівнянні з спокоєм викликає менше підвищення температури шкіри; в умовах високої температури приріст температури шкіри грудей при роботі вище, ніж у стані спокою; 50—100%-ний кисень порівняно з повітрям викликає більше зниження потовідділення при роботі в умовах низької, ніж високої температури.

2. Одержані дані дають можливість рекомендувати вдихання підвищених концентрацій кисню при виконанні тяжкої фізичної праці в умовах високої температури. Для людей, що працюють у кисневих респираторах, доцільно передбачати можливість регулювання концентрації кисню у вдихуваній газовій суміші з таким розрахунком, щоб у стані спокою або під час легкої праці знижувати її, а при тяжкій роботі підвищувати.

Література

1. Витте Н. К. — Тепловой обмен человека и его гигиеническое значение. К., 1956.
2. Навакатікян А. О., Благовещенская И. Н., Лебедева В. В., Певний С. А. — Труды Донецкого ин-та физиол. труда, 1959, 6, 202.
3. Навакатікян А. О., Благовещенская И. Н., Лебедева В. В., Певний С. А. — В сб.: Организм человека и животного в условиях высокой температуры внешней среды, Донецк, 1962, 94.
4. Навакатікян А. О., Лебедева В. В., Благовещенская И. Н., Певний С. А. — В сб.: Гигиена и физиология труда, производственная токсикология, клиника профзаболеваний. К., 1963, 216.
5. Навакатікян А. О., Лебедева В. В., Благовещенская И. Н., Певний С. А. — Физиол. журн. СССР, 1963, 49, 1036.
6. Фишер Р. А. — Статистич. методы для исслед. М., Госстатиздат, 1958.
7. Шахбазян Г. Х. — Гигиеническое нормирование микроклимата производственных помещений. К., 1952.
8. Шеффе Г. — Дисперсионный анализ. Гос. изд-во физ. лит. М., 1963, 625.
9. Эрман И. М. — Основы гигиены производственного микроклимата в горячих цехах. Л., Медицина, 1964, 264.
10. Solti F., Rev J., Dubsky M., Braun E. — Kisérlet. orvostud, 1964, 16, 6.

Комплексное действие различной температуры среды, физической нагрузки и концентрации кислорода во вдыхаемом воздухе на терморегуляторные функции человека

А. О. Навакатикян, В. В. Лебедева, И. Н. Благовещенская, С. А. Певный

Донецкий институт гигиены труда и профзаболеваний

Резюме

У горноспасателей и студентов (предварительно адаптированных к высокой температуре среды) в условиях эксперимента изучалось комплексное действие на организм человека высокой температуры среды ($50-60^{\circ}\text{C}$), физической нагрузки (10 и 20 тыс. кгм/час), и различной концентрации кислорода во вдыхаемом воздухе (21, 40 и 100%). До и после воздействия изучаемых факторов, а также в динамике во время самого воздействия определяли температуру тела, температуру кожи груди, лба и интенсивность потоотделения. Разработка полученного материала производилась дисперсионным методом [6, 8]. Применение этого метода потребовало определенной организации опытов, в частности, постановки всех серий в одинаковых условиях чередования опытов различных серий в случайном порядке для нивелирования возможного влияния предшествующих опытов на последующие.

Полученные результаты свидетельствуют о комбинированном влиянии изучавшихся факторов, которое проявляется во взаимной зависимости действий кислорода, температуры среды и физической нагрузки. Кислород в условиях комнатной температуры способствует повышению температуры кожи груди, а при высокой — снижению. Работа в условиях комнатной температуры в сравнении с покоем вызывает меньшее повышение температуры кожи; в условиях высокой температуры прирост температуры кожи при работе выше, чем в покое; 50—100%-ный кислород в сравнении с воздухом вызывает большее снижение потоотделения при работе в условиях низкой, чем высокой температуры.

Полученные данные дают основание рекомендовать употребление 50—100%-ного кислорода при выполнении тяжелой физической работы в условиях высокой температуры. Для людей, работающих в кислородных респираторах, целесообразно предусмотреть возможность регулирования содержания кислорода во вдыхаемой смеси с таким расчетом, чтобы в покое во время легкой работы понижать его, а при тяжелой — повышать.

Complex Action of the Different Medium Temperature, Physical Load and Oxygen Concentration in the Inhaled Air on the Thermoregulator Functions of Human Being

A. O. Navakatikyan, V. V. Lebedeva, I. M. Blagoveshchenska, S. A. Pevny

Donetsk Institute of Hygiene of Labour and Professional Diseases

Summary

The combined effect is established of the studied factors (different medium temperature, physical load and oxygen concentraion) in the researches undertaken by the rock rescue team and students. The results

were treated by means of dispersive analysis. Oxygen, under the room temperature conditions, promotes the temperature rise of the thoracic skin and at high ones—drop. The work, under the room temperature conditions in comparison with the rest, causes less temperature rise of the skin; under high temperature conditions the increase of the skin temperature is higher at work than at rest; 50—100% oxygen in comparison with air causes more decrease of the perspiration at work under the low temperature conditions than under the high one.

The obtained data give grounds to recommend respiring the high oxygen concentration during hard physical work under the high temperature conditions. For people working in oxygen respirators it is necessary to make provision for regulating the oxygen concentration in the inhaled gas mixture in such a manner that it can be decreased under rest or during light work, and increased — at hard work.

The combined effect is established of the studied factors (different medium temperature, physical load and oxygen concentration) on the results undertaken by the work teams and students. The results